

Onderstaande tekst is een vertaling uit EuroLaser-thema laserveiligheid, deel 7.

## Ontstaan van schadelijke stoffen en de veilige verwijdering ervan bij de materiaalbewerking met lasers.

Door : Günter Sembritzki

Bij het gebruik van een laser bij de materiaalbewerking moet er in principe vanuit worden gegaan dat er bij het verdampen van het bewerkte materiaal stoffen die schadelijk zijn voor de gezondheid in de omgevingslucht terechtkomen. Ook vandaag de dag zijn er nog veel open vragen met betrekking tot schadelijke stoffen die bij de materiaalbewerking met lasers kunnen ontstaan en over de optimale verwijdering ervan. Welke schadelijke stoffen kunnen er ontstaan, wat is de samenstelling ervan en het effect op het menselijke organisme, hoe hoog is de grenswaarde van deze voor de gezondheid schadelijke stoffen en hoe kunnen ze veilig worden verwijderd?

### **Ontstaan van schadelijke stoffen**

Als de gefocuste laserstraal van een hoogvermogen laser het oppervlak van een materiaal raakt, wordt er overeenkomstig het reflectievermogen van dit materiaal een bepaald aandeel van de laserenergie gereflecteerd en een bepaald aandeel geabsorbeerd. Zowel de reflectie als ook de absorptie veranderen zeer sterk met de golflengte van de laserstraling. Deze veranderingen van de reflectie en de absorptie kunnen bij verschillende materialen zeer uiteenlopend zijn. Het mechanisme van de absorptie van elektromagnetische energie in warmte is een zeer complex en gecompliceerd fysisch proces. In principe kunnen materialen worden onderscheiden in twee stofgroepen: metalen en niet-metalen.

Bij metalen vindt de absorptie plaats via de elektronen in de conductieband, daarom is het optische gedrag in belangrijke mate bepaald door het elektrische geleidingsvermogen van het metaal. De diepte van binnendringen van laserstraling bedraagt bij de meeste metalen ca. 10 tot 100 nm. Afgezien van het absorptievermogen heeft de warmtegeleiding een grote invloed op het opwarmingsmechanisme. Als de laserstraal het materiaal raakt, wordt de energie door warmtegeleiding naar het binnenste van het materiaal geleid en warmt een bepaald volume op.

Bij niet-metalen worden bij kortere golflengten de elektronen van de elektronenschil geactiveerd, die op hun beurt de energie stootsgewijs overdragen op het rooster en zo omzetten in warmte. Bij de grote golflengten worden de roostermodules van het materiaal (moleculen, ionen) direct in trilling gebracht en daardoor ontstaat warmte. In tegenstelling tot metalen treden bij niet-metalen bij de inwerking van intensieve laserstraling heel andere effecten op die in belangrijke mate afhangen van het gebruikte materiaal. Het warmtegeleidingsvermogen speelt praktisch geen grote rol meer. De diepte van binnendringen van laserstraling kan bij niet-metalen erg sterk variëren. Het reflectievermogen is meestal drastisch verminderd zodat er aanzienlijk meer laserenergie in het materiaal kan binnendringen dan bij de metalen.

Deze werkingsmechanismen bij metalen en niet-metalen leiden bij intensieve inwerking van laserstraling tot extreme lokale opwarming van het materiaal, tot smelten en ten slotte tot verdampen van het betreffende gebied. Dit verdampende materiaal wordt aerosol genoemd en bestaat uit gasvormige en vaste bestanddelen. De aerosolen kunnen afhankelijk van de soort materiaal, de omgevingsatmosfeer en de laserstraling zeer verschillend zijn opgebouwd

### **Definitie van het aerosol**

Aerosolen zijn in lucht opgeloste stoffen. Ze bestaan uit een gas als oplossend medium waarin de vloeibare substanties, zoals nevel of damp, dan wel vaste substanties, zoals rook, stof of roet, zijn opgelost. Op grond van de aggregaattoestand van deze opgeloste stoffen kan er worden onderscheiden tussen opgeloste en gecondenseerde aerosolen. Bij het verstuiwen van vaste stoffen en vloeistoffen worden opgeloste aerosolen gevormd. Gecondenseerde aerosolen worden gevormd bij de condensatie

van oververzadigde dampen of bij chemische reacties in de gasfase. De kleinste aerosoldeeltjes zijn geladen gasmoleculen en hebben afmetingen van ca. 1 nm. De omvang van grootste aerosoldeeltjes van in lucht opgeloste substanties bedraagt ongeveer 1 mm.

Op grond van deze verschillen in grootte valt al te zien hoe complex het gebied van de aerosolen is. Er zijn relatief eenvoudig opgebouwde aerosoldeeltjes tot en met extreem complexe aerosolen. Aerosolen zijn zeer instabiele systemen. Door de atmosferische omgeving worden de aerosolen qua grootte, qua chemische samenstelling en qua concentratie in de loop van de tijd veranderd zodat de meest uiteenlopende aerosolmengsels kunnen ontstaan.

### **Beoordeling van schadelijke stoffen**

Bij de bewerking van materiaal kunnen afhankelijk van het materiaal en de laserparameters de meest uiteenlopende aerosolemissies optreden. De concentratie en de samenstelling van de aerosolen kunnen extreem variëren. Aerosolen die bij de materiaalbewerking met lasers ontstaan, kunnen door mensen over het algemeen niet met betrekking tot hun mate van gevaar worden ingeschat of beoordeeld. Degenen die met laserapparatuur werken, nemen de schadelijke stoffen normaliter via de ademhalingswegen en de longen op, waarbij via de reuk een subjectieve beoordeling van de ingeademde lucht en de daarin opgenomen schadelijke stoffen plaatsvindt. Omdat bij de materiaalbewerking met lasers over het algemeen een relatief geringe hoeveelheid schadelijke stoffen in verhouding tot de omgevingslucht wordt gegenereerd, is het voor degene die met laserapparatuur werkt vaak helemaal niet mogelijk om op basis van een sterke stankoverlast of prikkeling van de ademhalingswegen de conclusie te trekken dat er sprake is van gevaar van de ingeademde schadelijke stoffen. Dit leidt er vaak toe dat personen die met laserapparatuur voor de bewerking van materiaal werken de daarbij ontstane schadelijke stoffen als ongevaarlijk en niet kritisch beschouwen.

Er zijn schadelijke stoffen die ook in een relatief hoge concentratie door de reukzin van de mens niet kunnen worden waargenomen. En er zijn schadelijke stoffen die aangenaam ruiken of als niet onaangenaam worden ervaren en desondanks uiterst gevaarlijk zijn. Omdat de emissie van schadelijke stoffen bij de materiaalbewerking met lasers niet via de reuk voldoende kan worden beoordeeld, moet er in principe rekening worden gehouden met een bedreiging van de gezondheid door de schadelijke stoffen.

De aerosolen die bij de bewerking van materiaal met de laser ontstaan, kunnen ook met andere substanties, bijvoorbeeld uit de omgevingslucht van de plaats waar de bewerkingslaser staat, verbindingen aangaan en zo nog andere schadelijke stoffen vormen.

De werking van een groot aantal schadelijke stoffen is voldoende bekend en er zijn grenswaarden vastgelegd (MAK-waarden = maximaal toelaatbare concentratie op de werkplek en TRK-waarden = toegestane expositielimiet) voor niet-kankerverwekkende en kankerverwekkende gevaarlijke stoffen. Bij overschrijding van deze grenswaarden moet er rekening gehouden worden met ernstige schade. Maar ook de waarde die zich nog net onder de grenswaarde bevindt, moet niet als niet-kritisch worden beschouwd, die grenswaarde moet daarentegen zo ver mogelijk worden onderschreden. De werking van veel schadelijke stoffen is echter niet bekend en er worden slechts verbanden met diverse ziekten vermoed.

Er zijn schadelijke stoffen die pas na een lange periode (maanden of jaren) door een cumulatieve ophoping in het lichaam van de mens leiden tot ernstige ziektesymptomen. Voor schadelijke stoffen die een allergene werking of andere immunologisch bepaalde effecten kunnen veroorzaken, is het niet mogelijk om concrete grenswaarden te bepalen omdat vaak reeds sporen van het allergeen kunnen leiden tot het optreden van ziekteverschijnselen. Bezien we deze feiten, dan zou materiaalbewerking met een laser nooit zonder geschikte afzuiging van de schadelijke stoffen mogen worden uitgevoerd.

### **Vermindering van schadelijke stoffen**

De meest simpele mogelijkheid om het minimaliseren van de emissie van schadelijke stoffen bij de materiaalbewerking met een laser te bereiken, is een optimalisering van het bewerkingsproces. De belangrijkste invloedsgrrootheid op de bij de bewerking ontstaande hoeveelheden energie is de in het werkstuk ingebrachte laserenergie. Overeenkomstig de kwaliteitseisen en de bewerkingsnelheid wordt er bij veel toepassingen echter een laserenergie gekozen die hoger is dan noodzakelijk. Om een

vermindering van schadelijke stoffen te bereiken, dient de laserenergie te worden verlaagd tot een voor de vereiste bewerkingskwaliteit toereikende minimale waarde.

Ook door de invloed van geschikte procesgassen kan een vermindering van schadelijke stoffen worden bereikt. Zo kan bij veel materiaalbewerkingsprocessen met een laser, bijvoorbeeld de bewerking van hout, het gebruik van lucht als procesgas in plaats van stikstof leiden tot een duidelijk verminderde emissie als geheel en aerosolen in het bijzonder. De meest efficiënte mogelijkheid voor het verminderen van de schadelijke stoffen in de omgevingslucht van laserapparatuur voor de materiaalbewerking is echter een geschikte afzuiginstallatie.

### **Verwijdering van schadelijke stoffen**

De eerste stap naar een veilige verwijdering van de ontstane schadelijke stoffen bij de materiaalbewerking met lasers is het inkapselen van de proceszone. Lasers voor de materiaalbewerking moeten conform DIN EN 12626 – laserbewerkingsmachines - zijn uitgevoerd als laser klasse 1. Hierbij is alleen al door de eis van een complete inkapseling sprake van een ruimtelijke begrenzing voor de verspreiding van de ontstane schadelijke stoffen, die zich daardoor goed laten afzuigen uit de beschermende behuizing. De tweede stap naar een veilige verwijdering is een geoptimaliseerde afzuiginstallatie. Er dient zoveel mogelijk te worden vermeden om grote volumes breed af te zuigen, daarentegen dient er een gerichte lokale afzuiging direct op de plaats van het laserproces plaats te vinden.

Voor veel bewerkingsprocessen is het noodzakelijk om voor het bereiken van een goed bewerkingsresultaat een geschikte afzuigkop direct in de onmiddellijke omgeving van de focus van de laser in de proceszone te monteren om te voorkomen dat de aerosolen op het materiaal condenseren en zo het bewerkingsresultaat verslechteren of het materiaal verontreinigen. Vooral bij grote onderdelen kan de afzuigkop vaak niet direct op de plaats van bewerking of in de buurt worden aangebracht zodat er op een geschikte plaats breed wordt afgezogen.

In principe dient de volumestroom van de afzuiging op een doelmatige sterkte te worden ingesteld om een optimaal bewerkingsresultaat door een efficiënte afzuiging van de ontstane pyrolyseproducten te bereiken en om de omgevingslucht zo veel mogelijk vrij te houden van de ontstane schadelijke stoffen.

### **Afzuiginstallaties en filtermaterialen voor de materiaalbewerking met lasers**

Op de markt voor filtertechniek zijn er momenteel maar weinig aanbieders van speciale afzuiginstallaties voor het filteren van deeltjes bij de materiaalbewerking met lasers. In veel gevallen kunnen de fabrikanten van afzuiginstallaties geen complete oplossingen voor een efficiënte afzuiging aanbieden.

De volgende werkwijzen voor het afzuigen kunnen bij de gebruikers worden aangetroffen:

- Er wordt afgezogen via gangbare afzuiginstallaties met papieren filters en/of koolstoffilters, waarbij de afgevoerde lucht hetzij in de ruimte teruggevoerd dan wel in een centraal afzuigkanaal van het bedrijf of direct naar buiten wordt geleid.
- Voor het afzuigen is de laserinstallatie direct op een centrale afzuiginstallatie van het bedrijf aangesloten, de schadelijke stoffen worden op oordeelkundige wijze als chemisch afval verwijderd.
- De afzuigkop van de laserinstallatie is aangesloten op een gangbare bedrijfs- of industriële stofzuiger, de afvoerlucht komt weer terug in de ruimte. Dit procedé is op grond van de absoluut ontoereikende afscheidingsgraad van de schadelijke stoffen zeer gevaarlijk en dient in geen geval te worden toegepast! Bij de materiaalbewerking met lasers ontstaan deeltjes die voor ca. 90% een geringere diameter hebben dan 0,5 µm. Bij deze deeltjesgrootte blijken centrifugaalfilters en natafscheiders niet zeer efficiënt te zijn, omdat ze slechts een gering afscheidingsvermogen hebben. Voor deze deeltjesgrootte zijn filterende afscheiders en elektrostatische afscheiders geschikt. Bij elektrostatische afscheiders is de te behalen afscheidingsgraad echter aanzienlijk geringer dan bij filterende afscheiders. Filterende afscheiders blijken zodoende geschikt te zijn voor het filteren van deeltjes bij de materiaalbewerking met lasers. Filterende afscheiders worden ingedeeld in oppervlaktefilters, dieptefilters en membraanfilters#.

Oppervlaktefilters zijn hoofdzakelijk geschikt voor het filteren van hogere deeltjesconcentraties.

Oppervlaktefilters hebben een filtermedium, bijv. van naaldvilt, textiele of niet-textiele weefsels zoals

keramiek of poreuze kunststoffen. Oppervlaktefilters kunnen normaliter met regelmatige tussenpozen worden gereinigd.

Dieptefilters worden over het algemeen gebruikt voor het filteren van deeltjes met een concentratie van minder dan 10 mg/m<sup>3</sup>. Verontreinigde dieptefilters kunnen normaliter niet opnieuw worden gebruikt en moeten worden verwijderd.

Membranefilters zijn bijv. met actieve koolstof gevulde containers of weefsels. Deze filters zijn niet geschikt voor de afscheiding van deeltjes omdat ze erg snel dicht gaan zitten en de afscheidende werking niet meer is gegeven. Actiefkoolstoffilters zijn geschikt voor het filteren van gas. Met name bij de kunststofbewerking met lasers kunnen actiefkoolstoffilters worden gebruikt. Bij de kunststofbewerking met een laserstraal ontstaat een gasmengsel bestaande uit de afzonderlijke componenten van de kunststof. Als dit gasmengsel met verschillende adsorptie-eigenschappen van de componenten in filters met actieve koolstof wordt geleid, worden de componenten met een slechte adsorptie verdrongen door de componenten met een goede adsorptie, dat wil zeggen dat de afscheidingsgraad van de verschillende componenten uiteenlopend hoog is. Actiefkoolstoffilters zijn met het oog op de vulling problematisch, omdat niet kan worden voorspeld hoe hoog de benodigde vulling voor een efficiënte afscheiding moet zijn

Op grond van het feit dat bij de laserbewerking van kunststoffen zeer complexe stofmengsels ontstaan, met sterk schommelende concentraties van schadelijke stoffen, valt niet te bepalen wanneer de actieve koolstof verzadigd is en moet worden vervangen. Vaak worden de actiefkoolstoffilters veel te lang gebruikt, zodat de afscheidingsgraad ervan sterk is afgenomen en er een overeenkomstige hoge concentratie van schadelijke stoffen weer met de afgezogen lucht wordt uitgeblazen.

De gebruiker moet bij afzuiginstallaties over het algemeen zelf bepalen wanneer het filter moet worden vervangen of gereinigd of bij membranefilters de actieve koolstof moet worden vervangen. Voor alle typen filters geldt in gelijke mate dat het van veel factoren afhankelijk is hoe lang een filter in een afzuiginstallatie kan worden gebruikt of wanneer het moet worden vervangen of gereinigd.

Conform de Europese norm DIN EN 12626 - laserbewerkingsmachines - moet de fabrikant zorgen voor geschikte middelen voor het opvangen van de rook en de luchtgedragen deeltjes van deze materialen en hij moet de gebruiker informatie leveren over grenswaarden die door de bewerking van deze materialen ontstaan. De veilige verwijdering en afvoer van de rook en vaste-stofdeeltjes uit de machine conform de lokale, nationale of regionale drempelgrenswaarden is een verantwoordelijkheid van de klant/gebruiker van de laserbewerkingsmachines.

Tabel: De reinigingsprocedures van afvoergassen voor het filteren van deeltjes kunnen in vier groepen worden ingedeeld.

Filteren van deeltjes			
Massakracht-afscheider	Natafscheider	Elektrische afscheider	Filterende afscheider
* zwaartekracht	* oxiderende wassers	* nat * droog	* oppervlaktefilter
* omkering	* tegenstroom * kruisstroom * dwarsstroom		* dieptefilter
* centrifugale kracht			* membraanfilter